



(19) **RU** (11) **2 191 288** (13) **C1**
(51) МПК⁷ **F 03 D 7/04**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

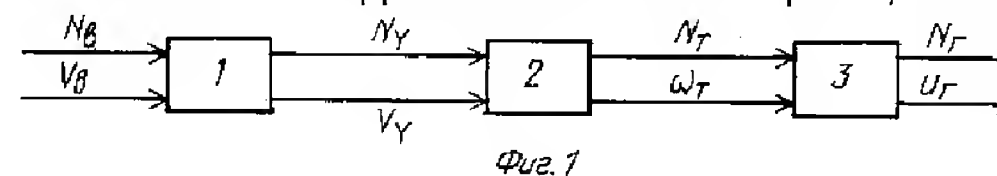
(21), (22) Заявка: 2001106741/06, 11.03.2001
(24) Дата начала действия патента: 11.03.2001
(46) Дата публикации: 20.10.2002
(56) Ссылки: RU 2147693 C1, 20.04.2000. SU 969952 A, 30.10.1982. EP 0045202 A1, 03.02.1982. DE 2851406 B2, 09.04.1981.
(98) Адрес для переписки:
443100, г.Самара, ул. Молодогвардейская,
215, кв.94, К.Д.Колесникову

(71) Заявитель:
Колесников Константин Дмитриевич
(72) Изобретатель: Колесников К.Д.
(73) Патентообладатель:
Колесников Константин Дмитриевич

(54) **ВЕТРОТУРБИННАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ**

(57) Реферат:
Изобретение относится к области ветроэнергетики. Технический результат, заключающийся в повышении КПД и стабильности электродвижущей силы при изменении скорости ветра и нагрузки электрогенератора, обеспечивается за счет того, что в ветротурбинной электростанции, содержащей усилитель скорости ветра, воздушную турбину и генератор постоянного

тока со стабилизатором электродвижущей силы, согласно изобретению усилитель скорости ветра, двухступенчатая воздушная турбина и электрогенератор постоянного тока со стабилизатором электродвижущей силы включены последовательно. 5 з.п. ф-лы, 8 ил.



RU 2 191 288 C1

RU 2 191 288 C1

Изобретение относится к области энергосберегающих технологий, в частности к области использования энергии ветра для получения электроэнергии. Актуальность решения энергетической проблемы определяется не только истощением органических источников энергии (нефть, газ, уголь), но и экологическим вредом от их сгорания. На эту проблему обращают внимание и крупнейшие нефтегазовые компании и правительства некоторых стран. Так в [1] сообщается, что компания "Ройал Датч Шелл" выделила на разработки в области использования энергии ветра, солнца и растительности 500 млн. долларов и, по ее прогнозам, к 2010 г. мировой рынок только солнечной энергетики достигнет 6 млрд. долларов, вместо настоящего 1 млрд. долларов. В [2] сообщается, что правительство Дании планирует к 2030 г. увеличить долю солнечной и ветровой энергетики в общем балансе с 4% до 30%, а в [3] сообщается, что в Голландии в начале нового тысячелетия предполагается внедрить 5000 ветроэлектростанций и 20% потребителей электроэнергии получить за счет ветра. Аналогичная задача решается в [4]. В [5, 6] приводятся данные для 2-лопастного крыльчатого ветродвигателя мощностью до 3000 кВт, длиной лопастей 100 м и шириной 5 м. В [7] приводятся конструкции ветроэнергетических установок и применение их, в частности, в сельском хозяйстве. В [8] вводятся 3-и вида конструкций ветродвигателей (крыльчатые, карусельные и барабанные). Основным недостатком существующих ветродвигателей является малый коэффициент использования площади ветрового колеса (отношение площади лопастей к площади сечения цилиндрического ветрового ламинарного потока на лопасти). Так для крыльчатых они достигают 0,42 (для многолопастных), а для карусельных и барабанных всего 0,1. Для гигантского ветродвигателя [5, 6] он составляет всего 0,03.

Известна ветротурбинная электростанция, содержащая усилитель скорости ветра, воздушную турбину и генератор постоянного тока со стабилизатором электродвижущей силы (см. RU, 2147693 C1, кл. F 03 D 1/04, 20.04.2000, 7 с.), по совокупности существенных признаков, принятая за ближайший аналог (прототип) изобретения.

Недостатками электростанции являются низкий КПД и удельная мощность двигателя.

Технический результат, заключающийся в повышении КПД и стабильности электродвижущей силы при изменении скорости ветра и нагрузки электрогенератора, обеспечивается за счет того, что в ветротурбинной электростанции, содержащей усилитель скорости ветра, воздушную турбину и генератор постоянного тока со стабилизатором электродвижущей силы, согласно изобретению усилитель скорости ветра, двухступенчатая воздушная турбина и электрогенератор постоянного тока со стабилизатором электродвижущей силы включены последовательно, при этом усилитель скорости ветра состоит из двух конусов внешнего и внутреннего, расположенных навстречу друг другу своими вершинами и сжимающими воздушный поток, увеличивая скорость ветра. Воздушная

турбина состоит из двух последовательных ступеней, причем первая ступень работает на ламинарный воздушный поток, а вторая на вихревой. Для получения максимального вращающегося момента на валах роторов ступеней лопасти (лопатки) роторов располагаются под углом 45° к оси вращения, а по отношению ступеней - под углом 90° , для согласования направления вращения роторов ступеней и соосности валов роторов между ступенями предусмотрен согласующий редуктор с 3-мя зубчатыми зацеплениями, а в стабилизаторе электродвижущей силы предусмотрено устройство, формирующее текущее значение ЭДС, состоящее из нелинейного элемента, входом в который является ток возбуждения, а выходом - сигнал, пропорциональный магнитному потоку и множительного элемента, в который входят сигналы от нелинейного элемента и от датчика угловой скорости (тахогенератора), а выходом - напряжение, равное ЭДС, которое сравнивается с заданным, и отклонение подается в блок управления током возбуждения генератора.

Поставленная задача решается, согласно фиг.1, агрегатом, состоящим из следующих блоков:

- 1 - усилитель скорости ветра;
- 2 - воздушная турбина;
- 3 - электрогенератор постоянного тока;
- 4 - стабилизатор электродвижущей силы

генератора 3;
 N_B - мощность входного потока ветра;
 N_y - выходная мощность усилителя 1;
 N_T - выходная мощность турбины 2;
 N_r - выходная мощность электрогенератора 3;
 V_B - линейная скорость на входе 1;
 V_y - линейная скорость на выходе 2;
 ω_T - угловая скорость выходного вала турбины 2 и генератора 3;
 U_r - напряжение на зажимах 3;
 i_B - ток возбуждения 3.

Энергетическая связь между блоками на фиг.1 указана верхними стрелками между мощностями N_B , N_y , N_T и N_r и аналитически определяется уравнениями (1), (2), (3)

$$N_y = \eta_y \cdot N_B, \quad (1)$$

$$N_T = \eta_T \cdot N_y = \eta_T \cdot \eta_y \cdot N_B, \quad (2)$$

$$N_r = \eta_r \cdot N_T = \eta_r \cdot \eta_T \cdot \eta_y \cdot N_B = \eta_{эс} \cdot N_B, \quad (3)$$

где η_y , η_T , η_r - КПД усилителя, турбины и генератора, а $\eta_{эс}$ - КПД электростанции в целом.

Аналитическая связь между скоростями определится уравнениями (4) и (5)

$$V_y = K_y \cdot V_B, \quad (4)$$

$$\omega_T = K_T \cdot V_y, \quad (5)$$

где K_y - коэффициент усиления усилителя 1,

K_T - коэффициент передачи турбины 2.

На фиг.2 представлен чертеж конструкции ветродвигателя, состоящей из 2-х блоков усилителя скорости и турбины, на которой обозначено:

- 1 - внешний усеченный конус усилителя скорости;
- 2 - внутренний конус усилителя скорости;
- 3 - входная крышка статора первой ступени турбины;
- 4 - лопасти ротора первой ступени;

- 5 - цилиндрическая часть статора первой ступени;
- 6 - выходная крышка статора первой ступени;
- 7 - цилиндрическая часть, соединяющая статоры первой и второй ступени турбины;
- 8 - передняя крышка статора второй ступени;
- 9 - цилиндрическая часть статора второй ступени;
- 10 - задняя крышка статора второй ступени;
- 11 - цилиндрические окна в крышках статоров;
- 12 - редуктор между ступенями турбины;
- 13 - лопатки ротора второй ступени турбины;
- 14 - вал ротора первой ступени турбины;
- 15 - вал ротора второй ступени турбины.

Отличительным признаком предлагаемого ветротурбинного двигателя является наличие усилителя скорости ветра, состоящего из 2-х конусов, между которыми проходит сжимающийся воздушный поток, и 2-ступенчатой турбины, ступени которой соединены согласующим редуктором, назначение которого согласовать направление вращения валов роторов первой и второй секций турбины (если роторы секций соединить одним валом, то турбина работать не будет).

Качественная сторона работы турбины определяется следующей последовательностью. Цилиндрический ламинарный поток ветра Φ_0 , диаметром D_0 (фиг.2), обладающий мощностью N_B , входит в межконусное пространство усилителя скорости ветра. Часть энергии потеряется при отражении от конической поверхности и превратится в тепло и внутреннюю энергию конусов. Поэтому поток ветра на выходе усилителя и входе в турбину будет иметь мощность меньшую на величину этих потерь.

Через цилиндрическое окно с 3-мя переключками между верхней и нижней частью крышки статора первой ступени 3 (фиг.2) воздушный поток попадает на лопасти 4 под углом α к нормам плоскости лопаток. При $\alpha=45^\circ$ получается \max вращающегося момента на валу ротора первой секции, а соответственно, и мощности.

На лопатке ветровой поток разлагается на две перпендикулярные части, одна из которых совпадает с нормалью к лопатке, а вторая параллельно ей, которая превращается из ламинарного в вихревой поток, который через заднее окно крышки 6 (фиг.2) проходит на вход второй секции крышки 8 и через окно поступает на лопатки 13 ротора второй секции, которые расположены перпендикулярно лопаткам первой секции и обеспечивают \max передаваемого вращающегося момента, а соответственно, и мощности. Вследствие перпендикулярного расположения лопаток ротора первой и второй секций турбины вращение роторов будет взаимно противоположное (без редуктора), поэтому для согласования необходимо соблюдать в редукторе нечетность зацеплений шестерен и условие соосности осей роторов. Таким образом, мощность на валу ротора второй секции будет определяться как мощностью первой, так и второй секции (арифметической суммой) и

передаваться электрогенератору через вал 15.

Количественные соотношения между энергетическими величинами (мощности, силами, давлениями) и геометрией ветротурбинного двигателя можно определить для ветровых потоков; цилиндрического входного в усилитель, отраженного от конусов усилителя и отраженного от лопаток роторов секций турбины и превращающих поступательное движение воздуха во вращающее движение роторов турбины.

Энергетические величины цилиндрического входного потока диаметра D_0 (фиг. 2) определяются согласно фиг.3 для приращения кинематической энергии (6)

$$dW = dm \cdot V_B^2 : 2 = \rho \cdot \pi \cdot D_0^2 \cdot V_B^2 \cdot dx : 8, \quad (6)$$

где ρ - плотность воздуха,

D_0 - диаметр входного внешнего конуса усилителя скорости,

V_B - скорость ламинарного потока ветра,

dx - элемент пути в направлении ветра.

Если (6) разделить на элемент времени dt , то получим выражение для мощности второго потока N_B (7)

$$N_B = dW : dt = \rho \cdot \pi \cdot D_0^2 \cdot V_B^2 \cdot (dx : dt) : 8 = \rho \cdot \pi \cdot D_0^2 \cdot V_B^3 : 8. \quad (7)$$

Разделив (6) на элемент dx , получим выражение для силы ветрового потока (8)

$$F_B = dW : dx = \rho \cdot \pi \cdot D_0^2 \cdot V_B^2 : 8. \quad (8)$$

А учитывая понятие давления как отношения силы на площадь, то для него получим

$$P_B = (F_B : S_B) = \rho \cdot V_B^2 : 2, \quad (9)$$

где $S_B = \pi \cdot D_0^2 : 4$ - площадь сечения ветрового потока в направлении x .

Работа воздушного потока в межконусном пространстве усилителя скорости определится по векторной диаграмме давлений на фиг.4, на которой обозначено:

x - ось, совпадающая с направлением ветра;

L - ось, совпадающая с образующей одного из конусов;

n - нормаль к L ;

p_0 - давление ветра в направлении x от входного потока в межконусном пространстве усилителя;

p_{0n} - составляющая p_0 в направлении n ;

p_{0L} - составляющая p_0 в направлении L ;

p_1 - давление отраженного от конуса потока воздуха;

p_{1n} - составляющая p_1 в направлении n ;

p_{1L} - составляющая p_1 в направлении L ;

p_{1x} - составляющая p_1 в направлении x ;

p_{2x} - вторая квадратурная составляющая p_1 ;

α - дополнительный угол к углу падения входного потока на конусную поверхность;

β - дополнительный угол к углу отражения для отраженного потока.

Если в качестве модели использовать случай косоугольного удара шарика о поверхность с потерями энергии [9], то разность между p_{0n} и p_{1n} можно трактовать как потерю

давления для безвозвратных потерь, уходящих на нагрев конуса, а p_{1n} идет на изменение внутренней энергии конуса. Согласно [8] потеря энергии определяется по коэффициенту восстановления "к" как отношение tg угла падения ($90^\circ - \alpha$) к углу отражения ($90^\circ - \beta$), т.е.

$$K = \operatorname{tg}(90^\circ - \alpha) : \operatorname{tg}(90^\circ - \beta) = \operatorname{tg} \beta : \operatorname{tg} \alpha, \quad (10)$$

где $k \leq 1$.

Если потери на нагрев отсутствуют, то $k=1$, а для стеклянного шара, падающего на стеклянную поверхность $k=15:16 \approx 0,9375$, т.е. 0,0625 от входного количества движения идет на нагрев стекла. Конечно такая модель не может полностью объяснить процессы отражения частиц воздуха от поверхности конусов и требует экспериментальных исследований, но оно дает качественную сторону процесса. Потери энергии зависят от качества поверхности конусов. Если поверхность отполирована, то потери будут меньше, чем для шероховатой. Поскольку плотность "р" зависит от влажности воздуха, то и потери будут зависеть от влажности воздуха (ветер с дождем или со снегом). Если идеализировать процесс с отсутствием безвозвратных потерь на нагрев, т.е.

считать $\alpha = \beta$, то согласно диаграмме фиг.4 и соотношений (7) и (9) получим мощность входного потока усилителя (11)

$$N_B = P_B \cdot V_B \cdot \pi D_0^2 : 4, \quad (11)$$

а для выходного потока усилителя (12)

$$N_1 = P_{1x} \cdot V_{1B} \cdot \pi (D_1^2 - D_2^2) : 4, \quad (12)$$

где $P_B = \rho_0 \cdot V_B^2 : 2$ - давление ветра на входе усилителя скорости ветра;

$P_{1x} = \rho_0 \cdot V_1^2 \cdot \cos 2\alpha : 2$ - давление ветра на выходе усилителя;

V_B - скорость ветра на входе усилителя;

V_1 - скорость ветра на выходе усилителя.

Поскольку потери на нагрев конусов согласно условию идеализации отсутствуют, то $N_1 = N_B$, т.е. КПД усилителя равен 1.

Приравняв (11) и (12) с учетом зависимости P_B и P_{1x} от скоростей, получим (13)

$$V_B^3 \cdot D_0^2 = V_1^3 \cdot (D_1^2 - D_2^2) \cdot \cos 2\alpha, \quad (13)$$

из которого получим (14)

$$V_1 = \sqrt[3]{\frac{D_0^2}{D_1^2 - D_2^2} \cdot \cos 2\alpha} \cdot V_B = K_y \cdot V_B, \quad (14)$$

$$\text{где } K_y = \sqrt[3]{\frac{D_0^2}{D_1^2 - D_2^2} \cdot \cos 2\alpha} -$$

коэффициент усиления ветра.

Если учесть потери на нагрев, то подкоренное выражение необходимо умножить на КПД усилителя.

Величина $\alpha < 45^\circ$, т.к. в случае $\alpha = 45^\circ$ выходная мощность усилителя будет равна 0 и вся система работать не будет, поэтому α рекомендуется выбирать в пределах $(15-30)^\circ$, т.к. от α зависит высота конусов H , а соответственно, и размеры усилителя.

На векторной диаграмме сил фиг.5 отображено действие воздушного потока в 2-х ступенях турбины. На фиг.5 обозначено:

1. L - ось, лежащая в плоскости лопаток роторов ступеней турбины;

2. n - нормаль к лопатке (к оси L);

3. $F_{x1} = S_0 \cdot P_{1x}$ - сила, действующая на все лопатки первой ступени турбины;

4. S_0 - площадь входного окна входной крышки статора турбины;

5. F_{n1} - проекция силы F_{x1} на нормаль n ;

6. F_{n2} - проекция силы F_{n1} на нормаль к x ;

7. F_{n3} - проекция силы F_{n1} на ось x ;

8. F_{L1} - проекция силы F_{x1} на ось L ;

9. F_{L2} - проекция силы F_{L1} на нормаль к оси x ;

10. F_{L3} - проекция силы L_1 на ось x .

Сила F_{x1} раскладывается на 2-е нормальные силы F_{n1} и F_{L1} . Этим разложением поток, поступающий на лопатки первой ступени, раскладывается на 2-е составляющие - нормальную, определяемую силой F_{n1} , и параллельную лопаткам ротора первой ступени, определяемую силой F_{L1} . Вторая составляющая в виде вихревого потока уходит во вторую ступень турбины, а первая, после разложения силы на F_{n2} и F_{n3} на 2 потока, один из которых, определяемый силой F_{n2} , и создает вращающий момент на валу ротора первой секции. После разложения F_{L1} на две составляющие F_{L2} и F_{L3} , а с учетом того, что F_{L1} нормальна к плоскостям лопаток второй секции, вращающий момент на валу ротора второй секции определяется силой F_{L2} , нормальной к оси x .

Из диаграммы видно, что поскольку $|F_{n2}| = |F_{n1}|$ и они направлены навстречу, то между секциями необходим реверсивный редуктор, согласующий направления вращения валов секций, что возможно лишь при нечетном количестве зацеплений шестерен редуктора, а с учетом соосности осей первой и второй ступени, их должно быть $\min 3$, что и заложено в конструкции фиг.2.

Связь между турбиной и электрогенератором может осуществляться известными способами (ремень, повышающий редуктор, муфты).

Поскольку основным возмущением для генератора в данном случае является изменение величины скорости ветра, то и стабилизация напряжения на зажимах генератора осуществляется через стабилизацию электродвижущей силы (ЭДС).

Управляющим воздействием является ток возбуждения генератора i_B .

Зависимость ЭДС от магнитного потока Φ и угловой частоты ω определится (15)

$$E_r = K_r \cdot \omega \cdot \Phi, \quad (15)$$

где E_r - ЭДС генератора;

ω - угловая частота вращения вала

генератора;

Φ - магнитный поток;

$$K_r = [(N \cdot P) : (2\pi \cdot a)];$$

N - число стержней якорной цепи генератора;

p - число пар полюсов;

a - число пар параллельных ветвей.

На фиг.6 представлены графики $E_r = f(i_B)$ генератора для частот ω_1 , ω_H и ω_2 , причем $\omega_1 < \omega_H < \omega_2$, где ω_H - частота, соответствующая номинальным режимам работы генератора, определяется значениями

$E_r = E_{гн}$, $i_b = i_{вн}$ на графике $\omega = \omega_1$.

При увеличении скорости ветра увеличится и ω до ω_2 . В этом случае ЭДС увеличится на величину ΔE_r и для поддержания $E_r = E_{гн}$ ток возбуждения необходимо уменьшать до $i_b = i_2$, изображающая точка будет перемещаться по верхнему графику от точки "а" до точки "в". При уменьшении ω до ω_1 ЭДС уменьшится на величину ΔE_r и ток возбуждения i_b необходимо увеличивать до $i_b = i_1$, чтобы $E_r = E_{гн}$, изображающая точка будет перемещаться по нижнему графику от точки "с" до "д".

На фиг.7 представлен график зависимости магнитного потока от тока возбуждения.

На фиг.8 представлена схема со стабилизатором ЭДС генератора, на которой обозначено:

1 - генератор;
2 - выходная цепь нагрузки генератора;
3 - датчик угловой частоты (тахогенератор);
4 - функциональный элемент, отображающий график фиг.7;
5 - усилитель;
6 - управляющий ток возбуждения блок;
 ω - угловая частота вращения вала, равная $\pi \cdot n / 30$;

n - обороты вала;
 E_r - ЭДС генератора;
 U_n - напряжение нагрузки;
 Φ - поток возбуждения;
 i_b - ток возбуждения;
 $E_{г3}$ - заданное значение ЭДС генератора;
 ΔE_r - отклонение ЭДС E_r от $E_{г3}$.

Работа стабилизатора определяется следующим образом.

При изменении скорости ветра изменяются обороты турбины и угловой частоты ω вала генератора, которая измеряется датчиком 3, изменится и ЭДС генератора E_r , что при наличии контура нагрузки не представляется возможным, в предлагаемой схеме эта величина вычисляется путем перемножения сигналов от датчика угловой скорости ω и сигнала от нелинейного элемента 4.

В этом случае постоянный коэффициент выхода множительного устройства должен быть равен k_r . Выход множительного устройства, равный E_r (если постоянного коэффициента недостаточно для равенства k_r , то необходим усилитель напряжения), сравнивается с заданным напряжением генератора $E_{гн}$, а отклонение ΔE_r через усилитель 5 передается в управляющее устройство ток i_b 6 для автоматического перемещения изображающей точки из "а" в "в" или из "с" в "д".

Нелинейный элемент 4 должен соответствовать графику фиг.7.

Пример ветротурбинной электростанции с параметрами: $D_0=6$ м; $D_1=3,1$ м; $D_2=2,9$ м; высота окна выходной крышки первой ступени турбины $h=0,1$ м; $\alpha=15^\circ$; H - высота конусов равна 5,4 м; $\rho=1,3$ кг/м³; $\eta_y=0,95$; $\eta_r=0,95$; $\eta_g=0,9$. Для данных параметров при скорости ветра $V_b=10$ м/с получим $N_b=18,378$ кВт, при $V_b=12,5$ м/с, $N_b=35,895$; при $V_b=15$ м/с, $N_b=62,027$ кВт,

соответственно с учетом КПД электростанции получим для $V_b=10$; $N_{эс}=14,927$ кВт, при $V_b=20$ м/с; $N_b=147,027$ кВт. Соответственно с учетом КПД электростанции получим для $V_b=12,5$ м/с; $N_{эс}=28,2899$ кВт; при $V_b=15$ м/с; $N_{эс}=50,49$ кВт при $V_b=17,5$ м/с, $N_{эс}=80,177$ кВт; $V_b=20$ м/с; $N_{эс}=119,423$ кВт.

Предлагаемая конструкция ветротурбинной электростанции может найти широкое применение в фермерских хозяйствах для экономии электроэнергии, а также в местах с большими запасами энергии ветра, в частности на берегах морей и океанов.

Источники информации

1. "Советская Россия", 125 (11563), 25.10.97 г. (газета).
2. "Советская Россия", 62 (11651), 28.05.1998 г. (газета).
3. "Достоинство" (газета), 32 (326), 7-13.08.2000 г., с.8.
4. "Наука и жизнь" (журнал), 2, 1989, "Надежда на ветер", с.12.
5. "Гигант ветроэнергетики", "Наука и жизнь", 8, 1987 г., с.44.
6. "Мягкий подшипник", "Наука и жизнь", 5, 1985 г., с.126.
7. Фатеев Е.М. "Ветродвиатели и ветроустановки", 2-е изд., М., 1957 г. и его же "Ветродвиатели и применение их в сельском хозяйстве", 2-е изд., М., 1958 г.
8. "Ветродвиатель", "Малая Советская Энциклопедия", 2, "БСЭ", третье издание, 1958 г.
9. Тарг С. М. "Краткий курс теоретической механики", М., 1966 г., с. 416-417.

Формула изобретения:

1. Ветротурбинная электростанция, включающая в себя усилитель скорости ветра, воздушную турбину и генератор постоянного тока со стабилизатором электродвижущей силы, отличающаяся тем, что в ней последовательно включены усилитель скорости ветра, двухступенчатая воздушная турбина и электрогенератор постоянного тока со стабилизатором электродвижущей силы.

2. Ветротурбинная электростанция по п.1, отличающаяся тем, что усилитель скорости ветра состоит из 2-х конусов внешнего и внутреннего, расположенных навстречу друг другу своими вершинами и сжимающими воздушный поток, увеличивая скорость ветра.

3. Ветротурбинная электростанция по п.1, отличающаяся тем, что воздушная турбина состоит из 2-х последовательных ступеней, причем первая ступень работает на ламинарный воздушный поток, а вторая - на вихревой.

4. Ветротурбинная электростанция по п.1, отличающаяся тем, что для получения максимального вращающегося момента на валах роторов ступеней лопасти (лопасти) роторов располагаются под углом 45° к оси вращения, а по отношению ступеней под углом 90° .

5. Ветротурбинная электростанция по п.1, отличающаяся тем, что для согласования направления вращения роторов ступеней и соосности валов роторов между ступенями предусмотрен согласующий редуктор с 3-мя зубчатыми зацеплениями.

6. Ветротурбинная электростанция по п.1, отличающаяся тем, что в стабилизаторе

электродвижущей силы предусмотрено устройство, формулирующее текущее значение ЭДС, состоящее из нелинейного элемента, входом в который является ток возбуждения, а выходом-сигнал, пропорциональный магнитному потоку и множительного элемента, в который входят

5

сигналы от нелинейного элемента и от датчика угловой скорости (тахогенератора), а выходом - напряжение, равное ЭДС, которое сравнивается с заданным, и отклонение подается в блок управления током возбуждения генератора.

10

15

20

25

30

35

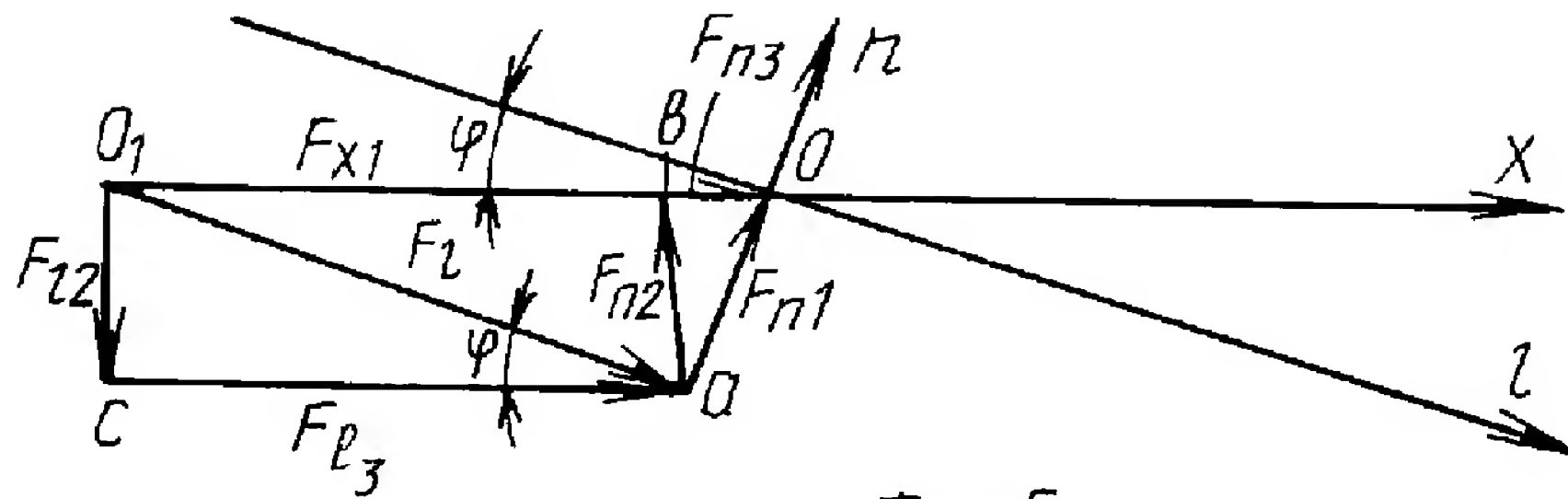
40

45

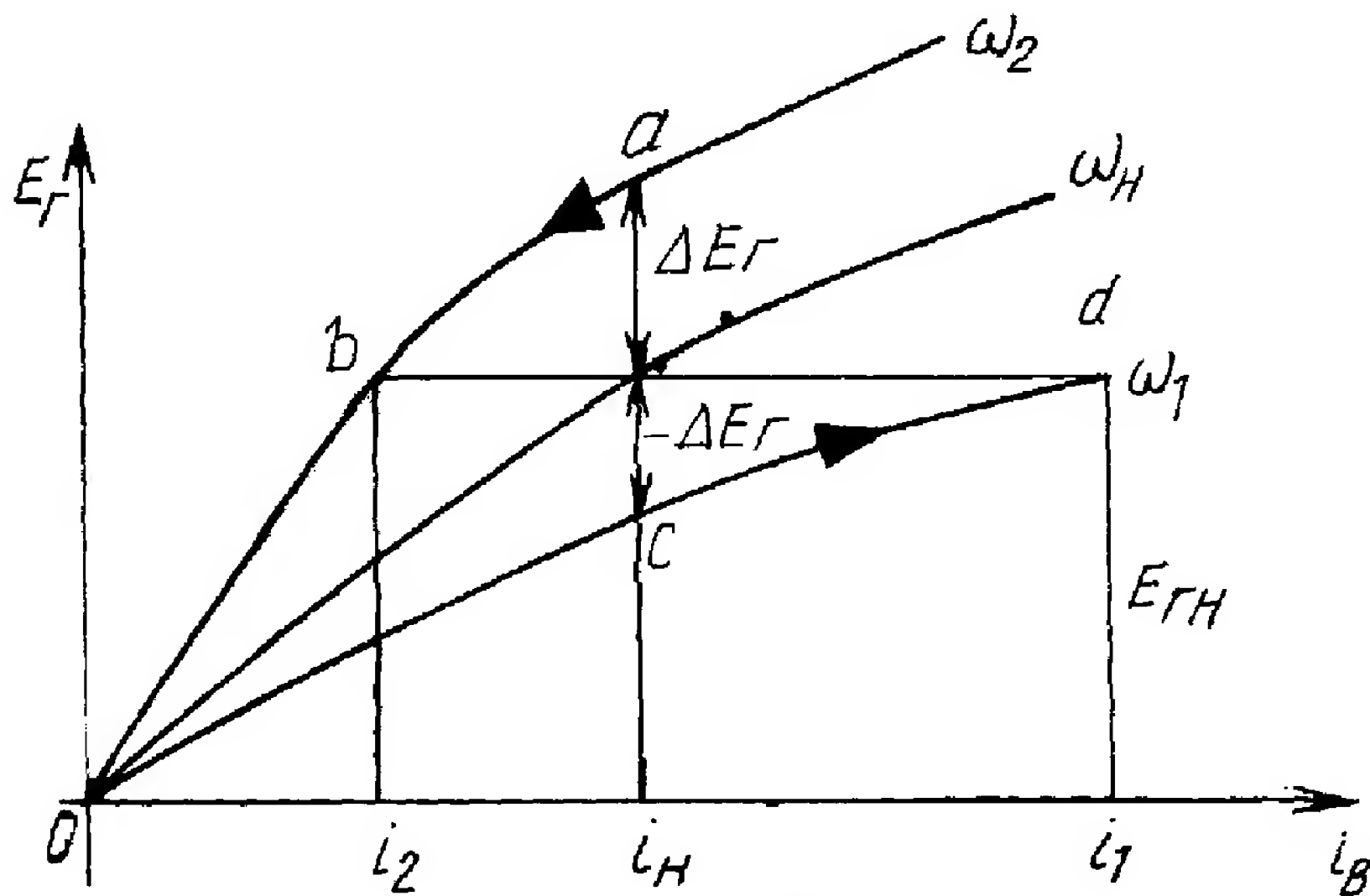
50

55

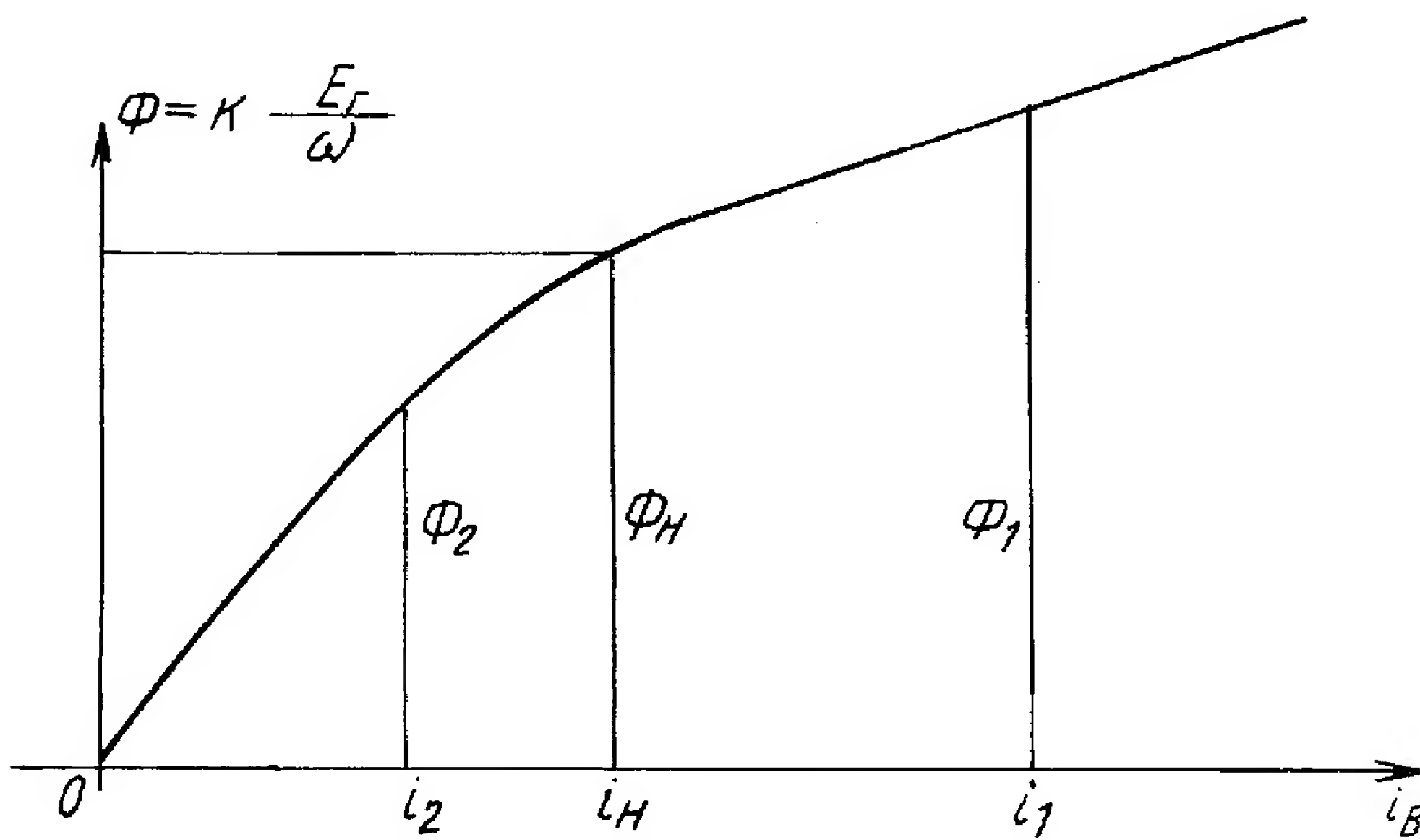
60



Фиг. 2.5



Фиг. 2.6



Фиг. 2.7

